

# КАК ПРАВИЛЬНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ПРЕИМУЩЕСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ И ПОЛИМЕРНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

ФРАНК ПУЙАН (FRANK PUHANE), Würth Elektronik eiSos

Алюминиевые полимерные конденсаторы, которые также называются полимерными электролитическими, – разновидность электролитических конденсаторов. Отличительной чертой компонентов данного типа является проводящий полимер, который применяется вместо жидкого электролита. Для изготовления полимера используется специальная технологическая операция. При химической реакции, или т. н. полимеризации, которая происходит при нагреве, жидкий мономер, пропитывающий бумажный сепаратор, контактирует с твердым полимером. Этот процесс осуществляется, как правило, при температуре около 100°C. По завершении операции полимер с течением времени отверждается. В таблице 1 перечислены возможные комбинации электродов для изготовления электролитических конденсаторов.

На практике также используются гибридные конструкции электролитических конденсаторов, в которых жидкий электролит комбинируется с твердым полимером. Алюминиевые электролитические и алюминиевые полимерные конденсаторы очень хорошо функционируют в условиях изменения напряжения и температуры. Более того, алюминиевые полимерные конденсаторы имеют очень хорошие показатели процесса старения. По сравнению с керамическими конденсаторами, у полимерных электролитических имеются значительные преимущества: например, они отлично функционируют, и их емкость не меняется в зависимости от постоянного напряжения заряда. Кроме того, использование полимерных конденсаторов предпочтительнее в тех случаях, когда необходимо увеличить их емкость, сохранив неизменной стоимость. Для значительного подавления паразитных эффектов (особенно связанных с эквивалентной последовательной индуктивностью), применяется специальная технология. Эти компоненты особенно востребованы в приложениях с большим током пульсации, с малыми

Таблица 1. Возможные конструкции электролитических конденсаторов

Алюминиевые		Танталовые		Ниобиевые	
неотвержденный/влажный	твердый/сухой	неотвержденный/влажный	твердый/сухой	неотвержденный/влажный	твердый/сухой

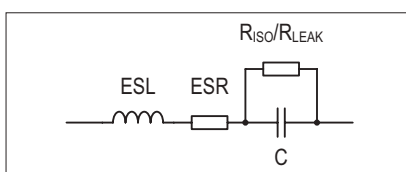


Рис. 1. Эквивалентная схема конденсатора

паразитными индуктивностями, высокой надежностью и очень хорошими температурными характеристиками. Эквивалентная схема конденсатора показана на рисунке 1.

Заметим, что у полимерных электролитических конденсаторов – выше ток утечки по сравнению со стандартными алюминиевыми электролитическими конденсаторами, что делает их непригодными для использования в приложениях с портативными батареями.

У полимерных электролитических конденсаторов – намного более продолжительный срок службы. Однако в приложениях с высоким уровнем вибраций выбор полимерных конденсаторов может оказаться неоптимальным с уче-

том конкретных условий эксплуатации, что обусловлено свойствами твердого полимера, – он не поглощает вибрации так же эффективно, как жидкий электролит.

В то же время следует понимать, что у стандартного электролитического конденсатора по-прежнему имеются преимущества – при той же емкости и напряжении их размеры меньше. У алюминиевых полимерных конденсаторов компании Würth Elektronik eiSos, предназначенных для широкого ряда приложений, величина емкости находится в пределах 10 мкФ...2 мФ, а рабочее напряжение – в диапазоне 6,3–100 В. Благодаря отличным электрическим характеристикам возможности использования полимерных электролитических конденсаторов очень широки, начиная с их применения для резервного питания, буферизации напряжения питания ИС, шунтирования или развязки сигналов, фильтрации и заканчивая функциями сглаживания в приложениях с импульсными стабилизаторами. Мы

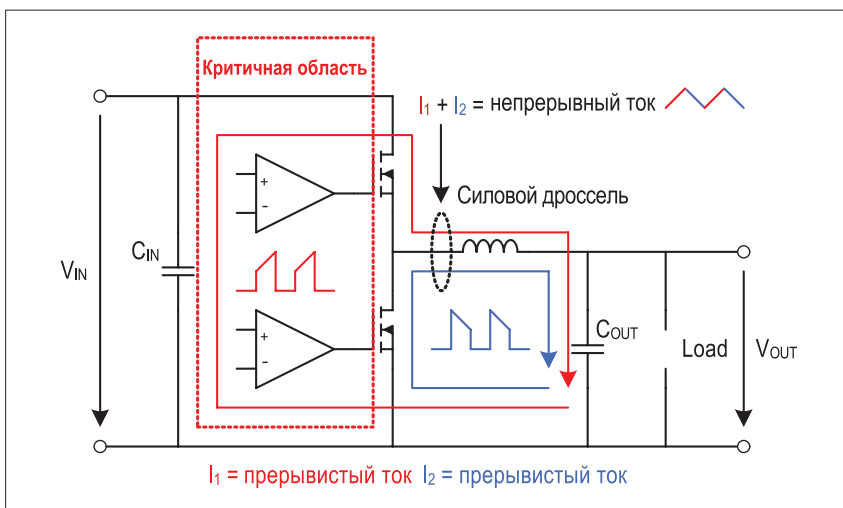


Рис. 2. Принцип работы понижающего преобразователя

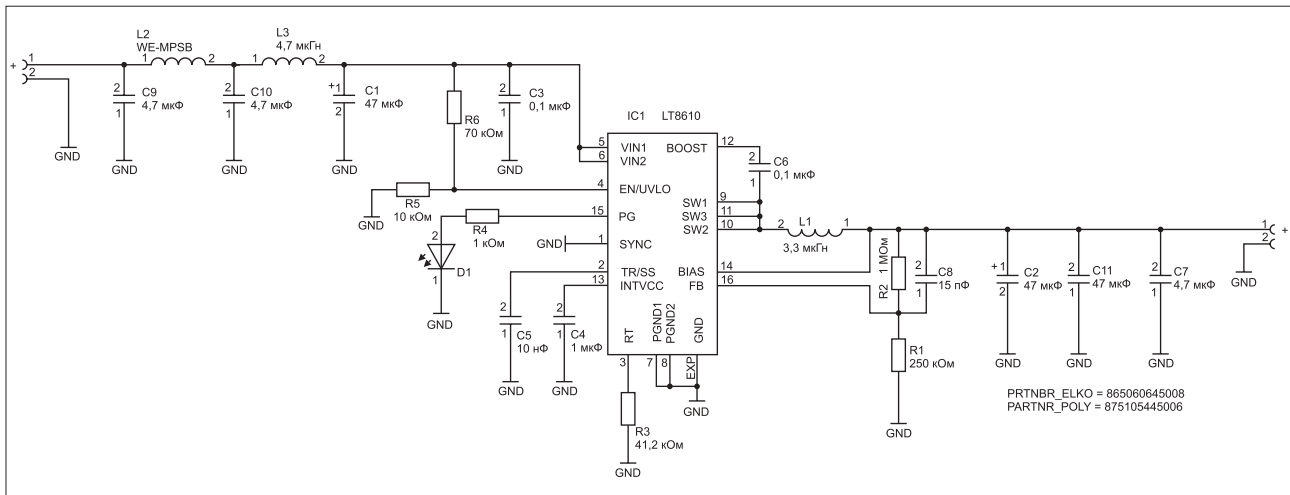


Рис. 3. Схема понижающего преобразователя

обсудим использование алюминиевых полимерных конденсаторов для фильтрации и сглаживания напряжения.

### ПОНИЖАЮЩИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Для выявления преимуществ полимерного электролитического конденсатора используется понижающий преобразователь. Его входное напряжение равно 12 В, а выходное – 5 В. Нагрузка является полностью омической и равна 5 Ом. Таким образом, через резистор протекает ток величиной 1 А. Эта схема является базовой для прояснения того, как функционируют полимерные электролитические конденсаторы. Она используется для измерения электромагнитной совместимости (ЭМС) и напряжения пульсации на выходе при одной и той же нагрузке. С точки зрения обеспечения ЭМС, наиболее критичной является входная сторона понижающего преобразователя, что обусловлено потреблением непрерывного тока на высоких скоростях коммутации полупроводников. На выходе этой схемы имеется LC-фильтр, который интегрирует прерывистый ток в высокой стороне ключа (см. рис. 2).

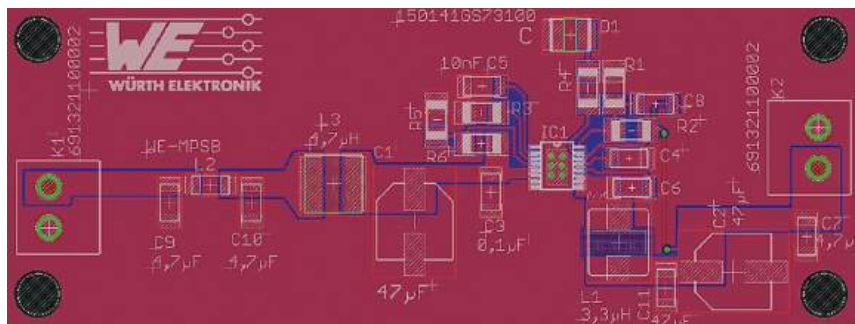


Рис. 4. Топология понижающего преобразователя

Конструкция и схема понижающего преобразователя выполнены с учетом требований спецификации к катушке индуктивности и конденсаторам. Значения индуктивности катушки и емкостей входного и выходного конденсаторов были верифицированы с помощью технического описания производителя и программы для имитационного моделирования, что особенно важно при использовании только одного алюминиевого электролитического конденсатора. Благодаря очень высокому значению ESR устойчивость стабилизатора ухудшилась. Для компенсации этого эффекта в контур обратной связи

был установлен конденсатор. Эта дополнительная емкость обеспечивает устойчивость даже при очень высоких значениях ESR. На рисунке 3 показана схема понижающего преобразователя, а на рисунке 4 – соответствующая топология. Топология состоит из двух слоев с медными площадками на верхней и нижней сторонах, подключенных к заземлению. Эту топологию можно еще доработать. Кроме того, требуется оптимизировать соединение компонентов с заземляющим слоем, чтобы улучшить фильтрацию. Измерение характеристики выходного конденсатора показывает, что из-за большой паразитной индук-

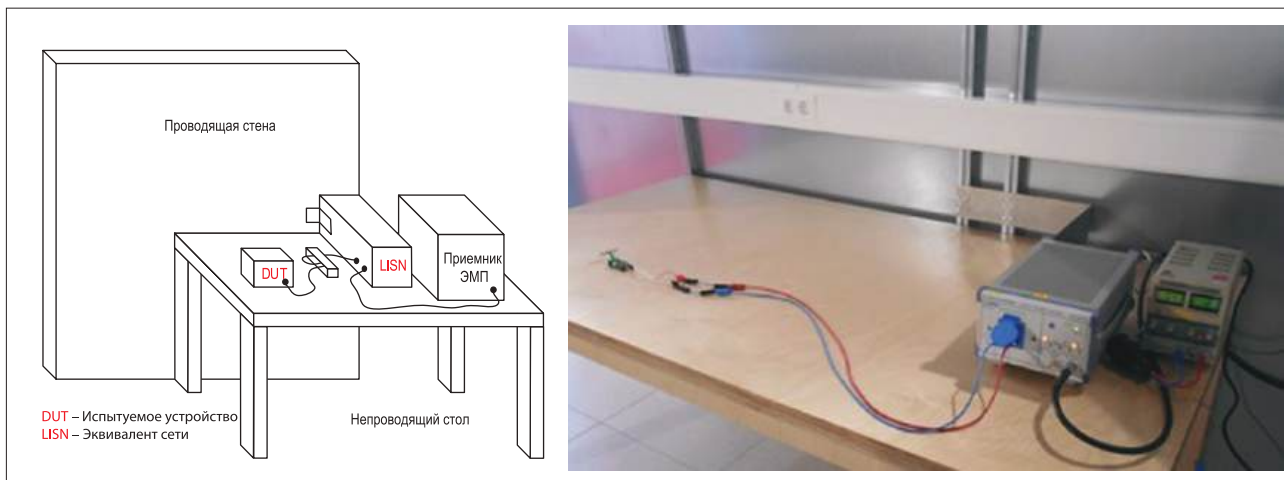


Рис. 5. Экспериментальная установка для измерения ЭМС согласно стандарту CISPR 35

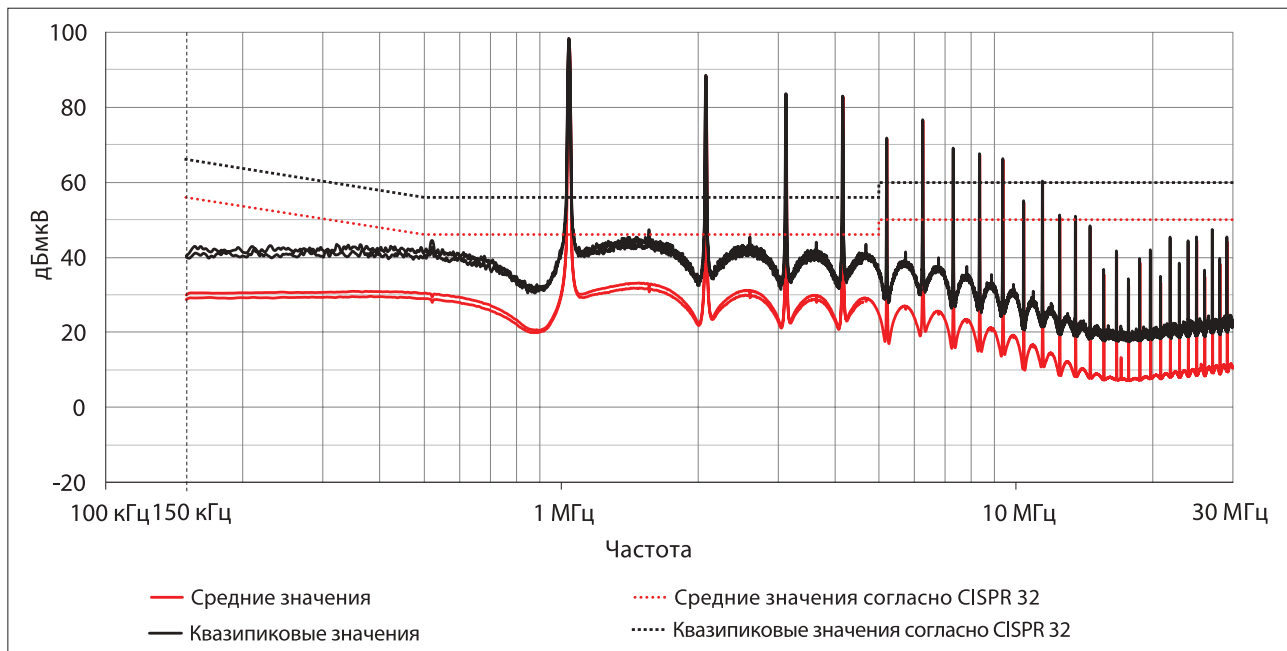


Рис. 6. Результат первого измерения ЭМС с использованием алюминиевого электролитического конденсатора C1

тивности появляются пики напряжения в выходном сигнале.

#### ИЗМЕРЕНИЕ ЭМС

Измерения проводились в соответствии со стандартом CISPR 32 (вместо CISPR 22 и 15) в защищенной от РЧ-излучения камере с соответствующим заземлением (см. рис. 5). В качестве измерительного приемника использовалась модель R&S ESRP 3, а для симуляции – двухпроводной V-образный эквивалент сети питания ENV216.

На начальном этапе измерений входные фильтры не использовались. Т-фильтр с отдельной катушкой индуктивности был установлен

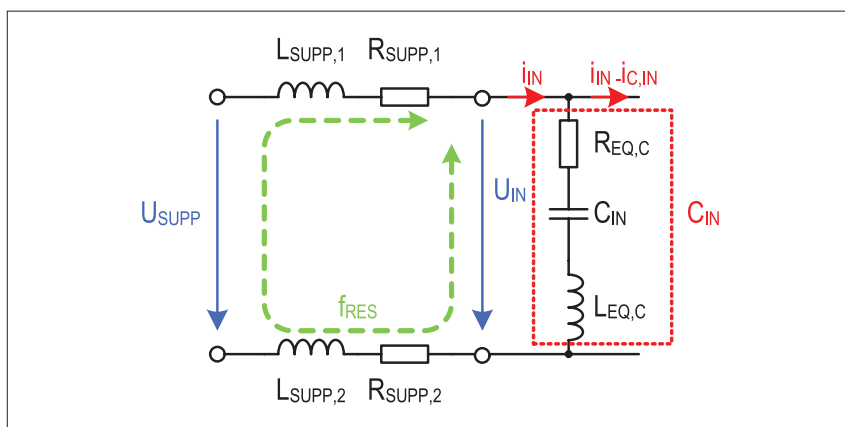


Рис. 7. Схематическое пояснение причины появления помех

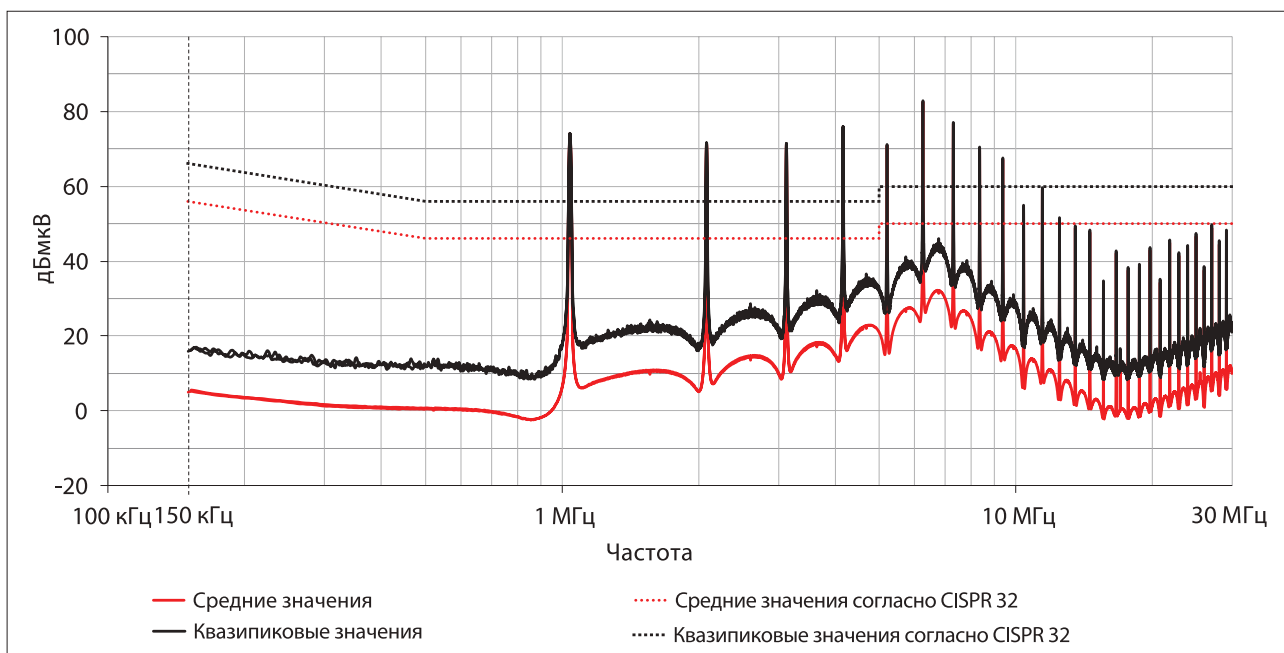


Рис. 8. Измерение ЭМС, в котором в качестве входного конденсатора C1 применяется алюминиевый полимерный конденсатор

на заключительном этапе измерений. Этот фильтр выполнен в соответствии с требованиями технического описания. В качестве входного конденсатора С1 использовался алюминиевый электролитический конденсатор WCAP-ASLL 865 060 343 004. У него следующие электрические характеристики:

- емкость: 47 мкФ;
- напряжение (ном.): 16 В;
- ESR: 411 мОм;
- ESL: 19 нГн.

Результаты измерения представлены на рисунке 6.

Из графика видно, что предельные значения, установленные стандартом CISPR 32 class B, меньше результатов измерений. Величина шума достигла 100 дБмкВ. Его появление обусловлено использованием конденсатора, вызывающего паразитные эффекты. В первую очередь, речь идет о ESR и паразитных эффектах топологии (индуктивности выводов), из-за которых появляется ВЧ-напряжение (см. рис. 7). Чтобы обеспечить приемлемые уровни помех, можно воспользоваться алюминиевым полимерным конденсатором. Его емкость и номинальное напряжение – те же, что и у алюминиевого электролитического конденсатора.

В схеме использовался эквивалентный компонент емкостью 47 мкФ с такими же выводами, а именно алюминиевый полимерный конденсатор WCAP-PSLP 875 105 344 006 с номинальным напряжением 16 В, ESR = 20,7 мОм и ESL = 3,9 нГн. Благодаря малым значениям ESR и ESL был получен спектр помех, показанный на рисунке 8.

Из рисунка 8 видно, что ЭМС стала существенно лучше за счет замены только одного компонента. Напряжение питания, генерируемое на основной частоте и первой гармонике этой частоты, уменьшилось, что привело к сокращению шума. Однако в этом случае тоже не выполнено требование к предельному значению, и потому следует установить еще фильтры. Выбор фильтров был сделан на основе данных из технического описания. Характеристика вносимой потери (в 50-Ом системе) этого фильтра показана на рисунке 9.

Для проведения еще одного измерения на печатную плату был установлен входной фильтр. Результаты этого измерения показаны на рисунке 10, где видно, как взаимодействуют алюминиевый полимерный конденсатор и входной фильтр. Комбинация входного фильтра, малого ESR и низкой ESL полимерного электролитического конденсатора позволяет уменьшить уровень помех до значений ниже пороговых. Были

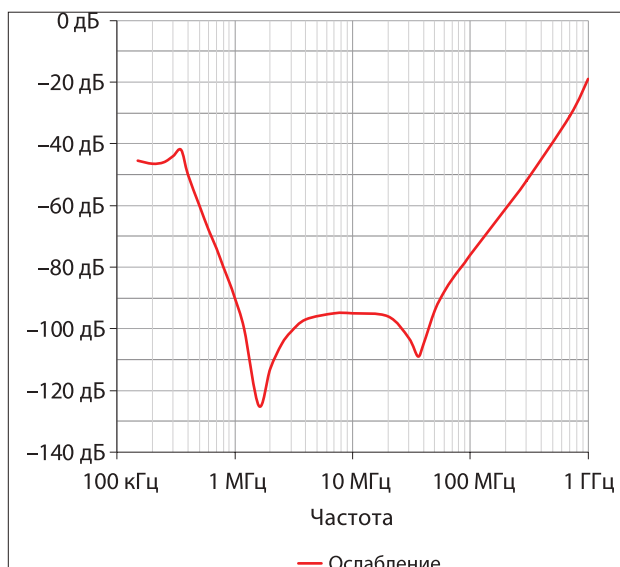


Рис. 9. Результаты симуляции встроенного входного фильтра

легко обеспечены значения ниже 40 дБмкВ (средние и квазипиковые), тогда как в первом измерении их уровень составил около 100 дБмкВ.

#### СРАВНЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА

Емкость выходного конденсатора понижающего преобразователя должна быть задана такой, чтобы управляющий контур был устойчивым и обеспечивалось стабильное выходное напряжение. Если уменьшить емкость, то в наихудшем случае преобразователь перестанет выполнять требования спецификации, например при изменении нагрузки. Это обстоятельство следует учитывать, особенно при использовании керамических конденсаторов class 2, например X7R и X5R. Далее мы рассмотрим, как влияет результирующий ток пульсации на выходной сигнал.

На рисунке 11 представлены результаты первого измерения выходной пульсации импульсного стабилизатора при использовании только одного алюминиевого электролитического конденсатора. В качестве такового был задействован тот же компонент WCAP-ASLL 865 060 343 004, что и прежде. Его емкость: 47 мкФ; напряжение (ном.): 16 В; ESR: 411 мОм; ESL:

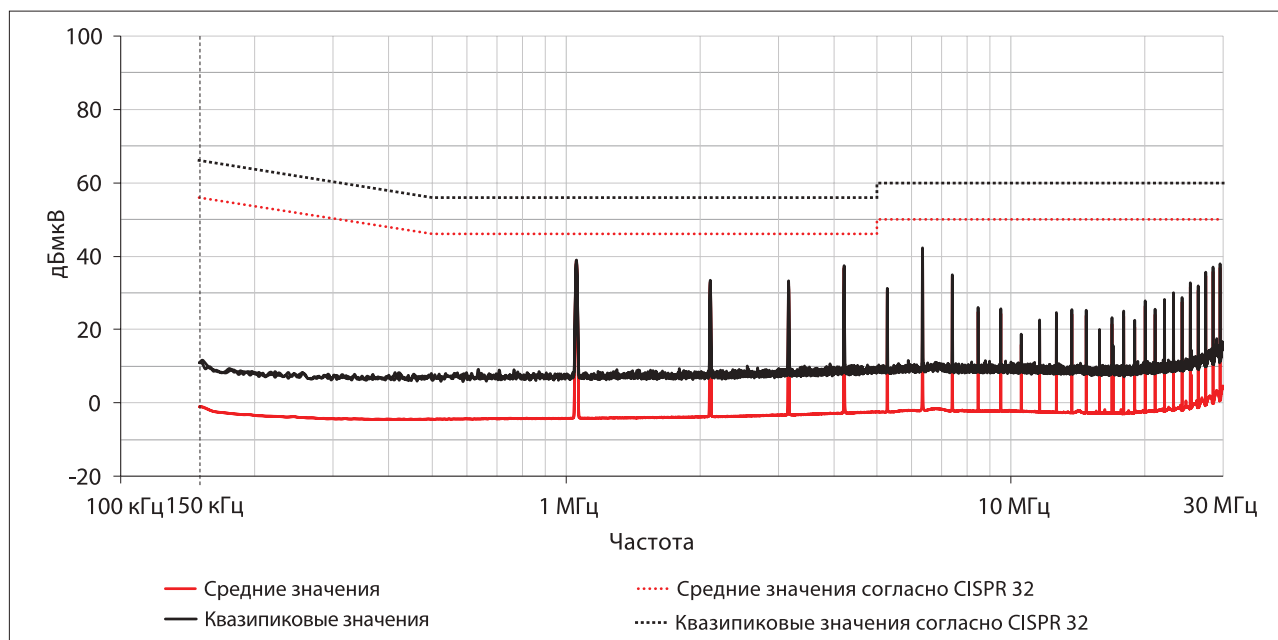


Рис. 10. Результаты измерения ЭМС с использованием входного фильтра и алюминиевого полимерного конденсатора С1

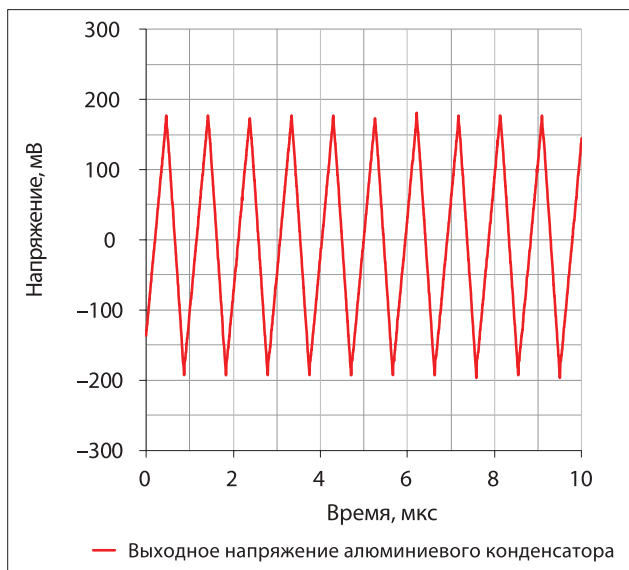


Рис. 11. Напряжение пульсации на выходе понижающего преобразователя при использовании только одного алюминиевого электролитического конденсатора

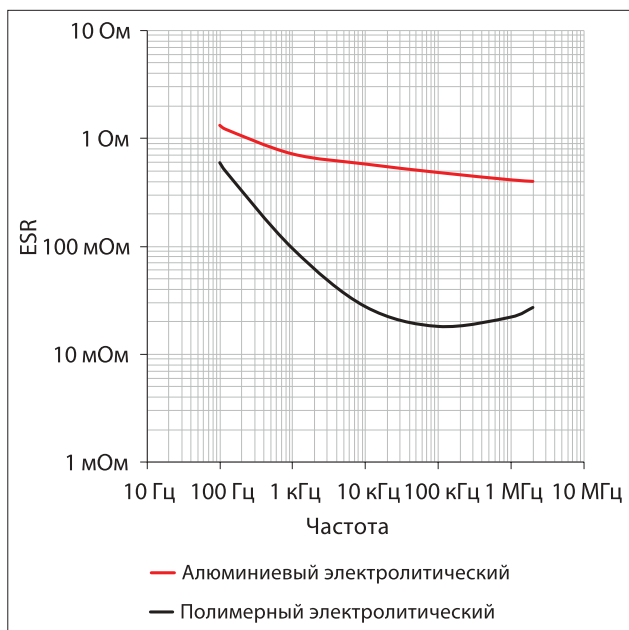


Рис. 12. Сравнение ESR алюминиевого электролитического конденсатора с ESR полимерного электролитического конденсатора

19 нГн. В силу высокого значения ESR полный размах напряжения составил 400 мВ. Следовательно, по меньшей мере, пульсации напряжения равны 8% при выходном напряжении 5 В. Даже при использовании двух параллельно установленных алюминиевых электролитических конденсаторов одного типа величина ESR составляет 205,5 мОм, т. е. еще очень большая. Кроме того, нельзя пренебрегать током пульсации через конденсатор, в результате чего этот компонент нагревается и может прекратить функционировать.

Полимерные электролитические конденсаторы нагреваются при том же токе пульсаций значительно меньше благодаря малому ESR. Это значит, что они могут работать при существенно большем токе пульсаций, не перегреваясь. На рисунке 12 сравниваются ESR алюминиевого электролитического конденсатора с ESR полимерного электролитического конденсатора.

Результаты измерения пульсаций выходного сигнала при использовании выходного полимерного конденсатора показаны на рисунке 13. В качестве алюминиевого поли-

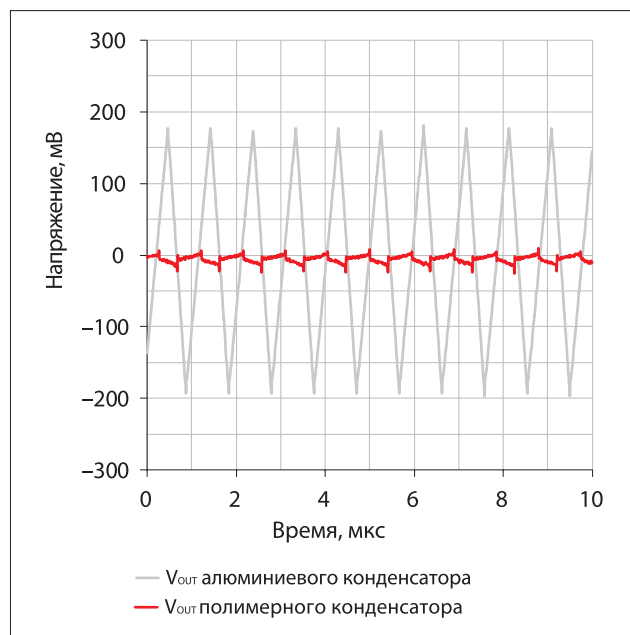


Рис. 13. Результаты измерения напряжения пульсаций при использовании на выходе алюминиевого полимерного конденсатора

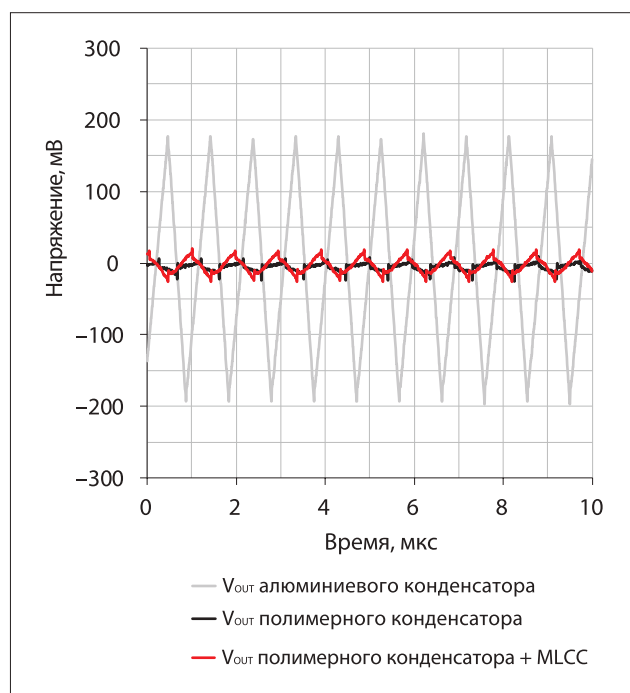


Рис. 14. Результаты измерения напряжения пульсаций при использовании алюминиевого полимерного и многослойного керамического конденсаторов

мерного конденсатора был выбран компонент WCAP-PSLP 875 105 344 006 емкостью 48 мкФ. Его номинальное напряжение: 16 В; ESR = 20,7 мОм; ESL = 3,9 нГн.

Величина полного размаха измеренного напряжения в рассматриваемом случае составляет всего 35 мВ, что допустимо. Пики напряжения на рисунке 13 обусловлены влиянием паразитной индуктивностью при коммутации. Таким образом, на практике нельзя использовать только алюминиевые полимерные электролитические конденсаторы – рекомендуется параллельно алюминиевому полимерному конденсатору устанавливать многослойный керамический конденсатор (MLCC), чтобы минимизировать паразитные эффекты и получить очень чистый выходной сигнал (см. рис. 14).

Таблица 2. Сравнение сроков службы конденсаторов при разных значениях температуры окружающей среды

Температура, °C	Срок службы алюминиевого полимерного конденсатора, ч		Срок службы алюминиевого электролитического конденсатора, ч		
	Алюминиевый	Полимерный	Алюминиевый	Полимерный	Алюминиевый
125	2000	2000	2000	2000	2000
105	20000	2000	8000	2000	1000
85	200000	20000	32000	8000	4000
65	2000000	200000	128000	32000	16000

В качестве многослойного керамического конденсатора использовался конденсатор X7R емкостью 4,7 мкФ с номинальным напряжением 16 В. В случае оптимизированной топологии печатной платы полный размах напряжения составил, как и ожидалось, 20 мВ (см. рис. 14).

### РАСЧЕТ СРОКА СЛУЖБЫ

Срок службы электролитических конденсаторов является очень важным параметром при их эксплуатации в промышленном оборудовании или других приложениях с продолжительным сроком службы. В таких случаях конденсаторы эксплуатируются гораздо дольше, чем, например, в потребительской электронике. Срок их службы зависит от множества факторов. Одним из них является температура или тепловая нагрузка, из-за которой со временем разрушается структура компонентов и ухудшаются их электрические характеристики. В результате повышается ток утечки, возрастает ESR, что, в свою очередь, приводит к дальнейшему увеличению температуры компонентов.

Причиной повышения температуры является рассеивание мощности на эквивалентном последовательном сопротивлении. Если при эксплуатации конденсаторов заданные предельные значения соблюдаются, повышается вероятность того, что срок службы окажется продолжительным при условии, что компонент не будет существенно нагреваться. В таблице 2 сравниваются значения срока службы алюминиевого электролитического и алюминиевого полимерного конденсаторов при разных температурах окружающей среды. Эти значения были получены с помощью двух формул. Срок службы полимерных электролитических конденсаторов возрастает десятикратно, если их температура уменьшается на 20°C в соответствии с уравнением (1):

$$L_X = L_{NOM} \cdot 10^{\frac{T_0 - T_a}{20}} \quad (1)$$

У конденсаторов с жидким электролитом расчетный срок службы увеличивается вдвое при уменьшении температуры на каждые 10°C:

$$L_X = L_{NOM} \cdot 2^{\frac{T_0 - T_a}{10}} \quad (2)$$

Таблица 2 состоит из четырех колонок. В первой из них представлены значения температуры внешней среды  $T_a$ , которые фигурируют в уравнениях (1) и (2). В двух других колонках представлены значения номинального срока службы  $L_{NOM}$  алюминиевого полимерного и алюминиевого электролитического конденсаторов. Эти значения соответствуют максимальной заданной температуре  $T_0$  на поверхности компонентов. В других колонках этой таблицы представлены значения расчетного срока службы  $L_X$ , полученные с помощью уравнений (1) и (2). Например, из таблицы видно, что при температуре окружающей среды 65°C теоретический срок службы алюминиевого полимерного конденсатора достигает 2000000 ч, или 228 лет. Обеспечить такой срок службы не представляется возможным. Типовой максимальный расчетный срок службы зависит от производителя компонентов и находится в пределах 13–15 лет.

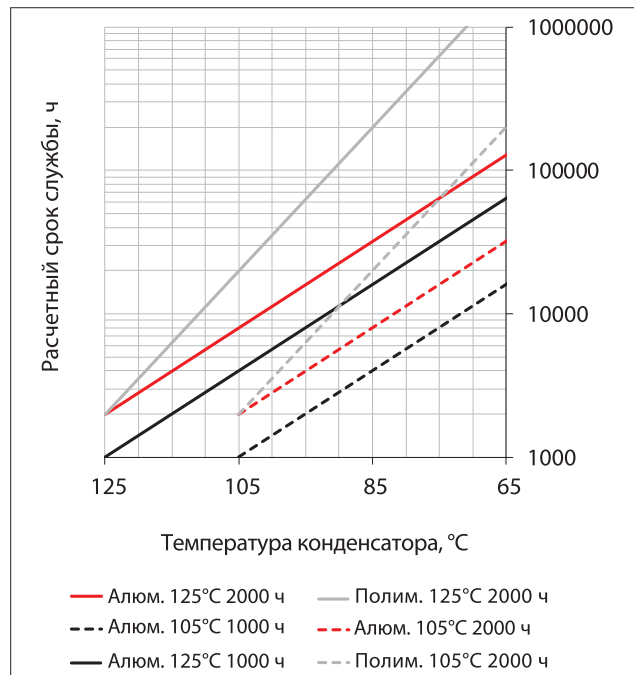


Рис. 15. Значения расчетного срока службы алюминиевых и полимерных конденсаторов

Из таблицы 2 также видно, при какой температуре окружающей среды алюминиевые полимерные конденсаторы имеют преимущества по сроку службы. Заметим, что, например, при 105°C срок службы алюминиевых электролитических и алюминиевых полимерных конденсаторов составляет 2000 ч, а при 85°C срок службы полимерного электролитического конденсатора больше. Из рисунка 15 видно, что графики для алюминиевых и полимерных конденсаторов всегда пересекаются друг с другом, но точка пересечения, соответствующая наиболее продолжительному сроку службы, наблюдается только в случае с максимальной заданной температурой компонента 125°C. По вертикальной оси графиков отложены значения номинального срока службы при заданной температуре. Разумеется, помимо этого показателя при выборе конденсаторов следует учитывать и другие параметры. Может оказаться, что в каком-то конкретном приложении значения срока службы конденсаторов двух рассматриваемых типов будут одинаковыми, но у алюминиевых полимерных компонентов лучше показатели ESR и ESL, что немаловажно.

### ВЫВОДЫ

У алюминиевых полимерных конденсаторов благодаря их конструкции имеются значительные преимущества, необходимые для современных электронных систем. Малые значения ESR и ESL при очень продолжительном сроке службы востребованы в очень многих приложениях. Следовательно, возможность применения тех или иных конденсаторов следует рассматривать исходя из указаний по применению. В результате корректного выбора улучшаются характеристики системы и ее эффективность. ▬